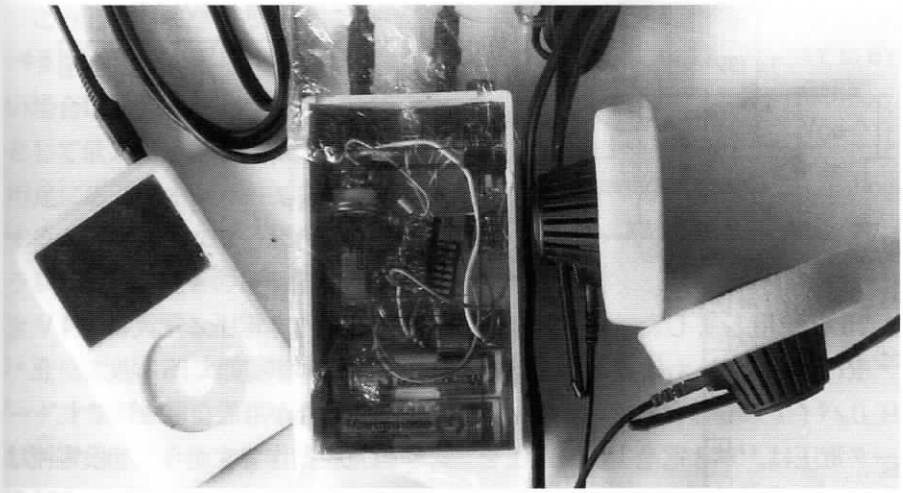
●単３電池２本で動作，いつでもどこでも聴けます



３極管＋MOS-FET 出力
携帯用ヘッドフォン・アンプを作る

■池田 敏弘■

成功した３極管＋MOS-FET アンプを携帯用に

本誌2015年６月号に発表した３極管＋MOS-FET アンプはiPod，ウォークマン，タブレット，モバイルPC，携帯電話，スマートフォンといったデジタル携帯機器にふさわしい小型なサイズながら，聴感パワーある３極管ハーモニクス・サウンドが楽しめる車載対応の真空管アンプとなっていました．一方，デジタル携帯機器を音楽再生に使われているかたのほとんどは，ヘッドフォンで聴かれているのが現在の状況と思われます．

そこで，この３極管＋MOS-FET 構成アンプが携帯型に対応できれば，いつでもどこでも聴感パワーのあるハーモニクス・サウンドが楽しめることになります．そうした考えから，今回３極管＋MOS-FET 構成の携帯アンプを設計・製作し，すばらしいヘッドフォン再生を確認することができました．

３極管＋MOS-FET アンプの基本回路は本年６月号P41の**第１図**に示したとおりです．初段を３極管カソード接地とし，出力段をMOS-FET ソース・フォロアとする，シンプルな真空管ハイブリッド回路です．初段は，３極管で音楽再生に適するハーモニクス効果を生みだし，出力段はMOS-FET の伝達特性が目立ちにくいソース・フォロアとして単なるインピーダンス変換動作とし，スピーカを駆動します．本機では，この構成を踏襲しながら，携帯対応にすることがポイントとなります．

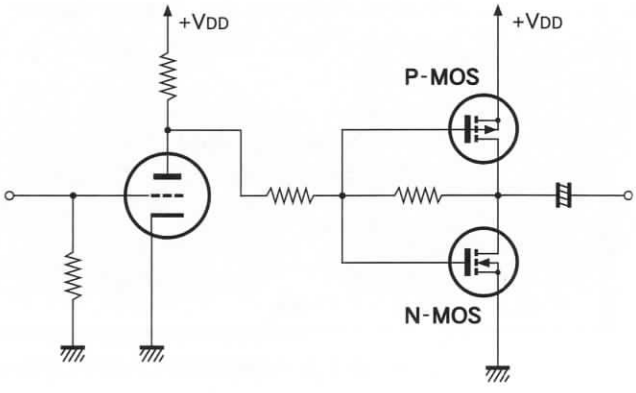
ところで，携帯動作とするには，第１に，少ない電池数で長時間動作が可能な低消費電力化を図る必要があり，また携帯が容易なように，小型軽量化を図る必要もあります．

そんな観点から，聴感パワーあるハーモニクス・サウンドの再生能力を維持しながら，上記携帯への課題に対応する回路仕様を検討しました．

初段に３極管を使うには，第１課題であるヒータ電力を抑えなければなりません．携帯ですと入手容易な単３電池駆動が好ましく，少ない単３電池数で長時間再生を可能としなければなりません．

そこで，３極管は単３電池そのもので使用可能な電池管とします．出力段のMOS-FET も，少ない単３電池数での駆動に対応する必要があります．すなわち，単３電池２個ほどの低電圧で駆動可能なように，出力段のMOS-FET 構成を考えなければなりません．

検討した結果，PchMOS-FET とNchMOS-FET とによるソース接地コンプリ出力としました．**第１図**に携帯対応の基本回路図を示します．出力段をソース接地とすることで，出力位相は入力位相と同相となります．そして，出力MOS-FET の伝達特性を目立ちにくくして単なるイ



〈第１図〉
３極管＋MOS-FET 出力アンプの基本構成

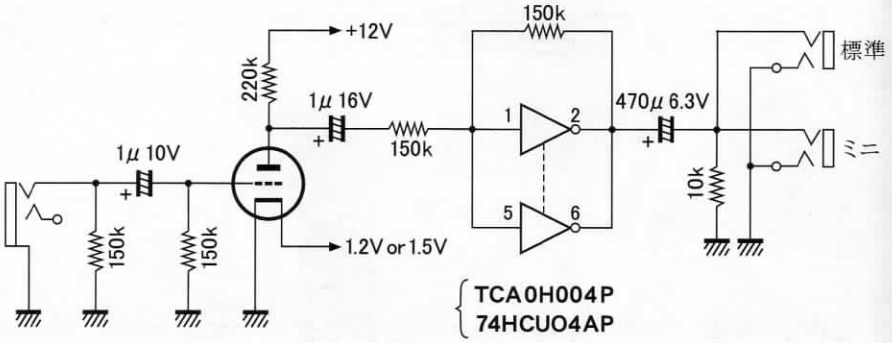
ンピーダンス変換動作とするため，ドレイン出力からゲートに帰還抵抗を設け，ゲート入力抵抗とで反転アンプを構成し，クローズド・ゲインを−1くらいに低くすればいいことになります．

上記の基本構成により，狙いとする聴感パワーのある音楽再生能力を維持しながら，携帯対応として必要となる低消費電力化，小型軽量化が可能となります．

回路のあらまし

第2図が今回製作する携帯ヘッドフォン・アンプの回路図です．

初段の真空管には，直熱双3極管3A5を使用しました．1本でLch／Rchのステレオ仕様とし，低電圧0バイアス動作としています．ヒータ電圧は，単3電池1個の電圧を供給する形としています．写真1に外観を示します．



〈第2図〉本機増幅部の全回路図

3A5の電気特性を**第1表**に示します．ヒータ電圧／電流は1.4V／220mA，増幅度は15程度で，正バイアス動作が可能な電池管です．

低電圧動作ですから，初段電流は小さく，プレート側抵抗は150kΩと大きな値となります．プレート出力は，DCカットの電解コンデンサを介し，次段に伝達します．

アンプ外形サイズのより小型化を望むときは，サブミニチュア管タイプの3極管を採用すれば，より薄型超小型化も可能です．今回は，真空管の視覚的要素と聴覚的要素とを併せ持つ直熱3極管3A5としています．直熱管ですから，電源オン即，音楽が楽しめます．

出力段のコンプリMOS-FETには，インバータ74HCU04APを使用しています．**第2表**にデータ表を示します．74HCアンバッファ・タイプとなります．ここはTC40H004Pも使用できます．

今回は携帯ヘッドフォン再生に特化し，2個でLch／Rchのステレオ仕様とし，片chインバータは6パラレル出力としています．

出力は，ヘッドフォン・インピーダンス32Ωに対応可能です．なお，16Ω,8Ωといった低インピーダンスのヘッドフォンに対応する場合は，片ch12パラレル出力にし，両chで4個使用するといいでしょう．さらに，8Ωスピーカにも対応したいときは，片ch24パラレル出力にし，両chで8個使用することになります．

3A5

3A5

H-F TWIN TRIODE
・MINIATURE TYPE

Filament	Coated		
Filament Arrangement	*Series**	*Parallel***	
Voltage	2.8	1.4	d-c volts
Current	0.11	0.22	amp.
Direct Interelectrode Capacitances:°			
	Triode Unit T1	*Triode Unit T2*	
Grid to Plate	3.2	3.2	μμf
Grid to Filament	0.9	0.9	μμf
Plate to Filament	1.0	1.0	μμf
Plate to Plate	0.32		μμf
Maximum Overall Length			2-1/8"
Maximum Seated Height			1-7/8"
Maximum Diameter			3/4"
Bulb			T-5-1/2"
Base▲			Miniature Button 7-Pin
Pin 1 - Filament -			Pin 5 - Grid T_1
Pin 2 - Plate T_2			Pin 6 - Plate T_1
Pin 3 - Grid T_2			Pin 7 - Fil.(+ series)
Pin 4 - {Fil. Mid-Tap (+ parallel)			
RCA Socket			Stock No.9914
Mounting Position	BOTTOM VIEW (7BC)		Any

For convenience, one triode unit is identified as T_1; the other as T_2.

Maximum Ratings Are Design-Center Values

A-F POWER AMPLIFIER

Plate Voltage	135 max..	volts
Plate Current	5 max.	ma.
Plate Dissipation	0.5 max.	watt
Characteristics - Class A, Amplifier:		
Plate Voltage	90	volts
Grid Voltage	-2.5	volts
Amplification Factor	15	
Plate Resistance	8300	ohms
Transconductance	1800	μmhos
Plate Current	3.7	ma.

〈第1表〉初段に使用した3A5の規格

ただし，インバータが増えるぶん消費電力が増えます．

こうしたさまざまな用途に応じてパラレル数を変えられるようにしたい場合は，インバータ用ICソケットとして最大パラレルの数だけ準備し，用途に応じてインバータを抜き挿しするか，**写真A**のように，用途数パラレル接続したものを準備し，ICソケットに挿入するといいでしょう．

今回は，メインで使用するインピーダンスが600Ωと高いため，インバータICは1個でもよかったのですが，市販で主流となる傾向の32Ωヘッドフォンに対応することも考え，2個使いました．

ゲートの入力抵抗，ドレイン出力の帰還抵抗には150kΩを使用し，ハイ受けロー送りのインピーダンス変換反転動作としています．出力には，DCカットの電解コンデンサを設けてOTLアンプとし，f特を伸ばし，ハイレゾにも対応しています．

この携帯アンプのトータル電圧ゲインAはつぎのようになります．

まず，初段3極管のゲインA1は，つぎの近似式で表されます．

$A1 = (\mu \cdot RL1) / (RL1 + rp)$

$= (15 \times 150k) / (150k + 8.3k)$

$\fallingdotseq 14$（反転）

（μ：3A5のμ，RL1：3A5の負荷，rp：3A5のrp）

次段のゲインは，インバータに接続された帰還抵抗により決定されます．反転増幅部のゲインA2は，つぎの式で表されます．

$A2 = G / (1 + (R1/R2) \cdot (1+G))$

$= 20/22 \fallingdotseq 0.9$（反転）

そこで，トータル・ゲインAは，

$A = A1 \times A2 \fallingdotseq 12$倍

と算出され，電圧ゲインとしては，ロス分を入れて，8倍ぐらいで動作していると推定できそうです．

出力用ヘッドフォン端子には，標準タイプとミニ・タイプの2つを装備しました．一般に使用されているミニ・タイプのみとすれば，外形サイズはより小型化できます．

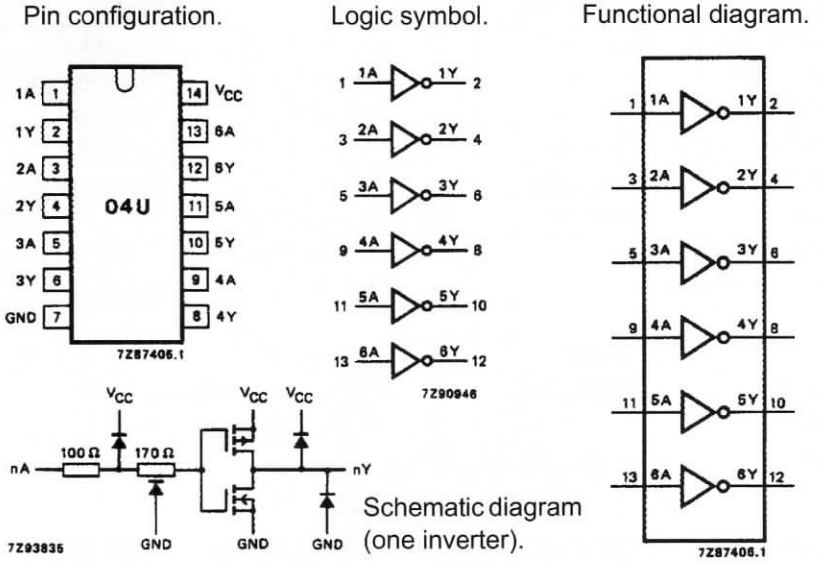
本機の電源部回路を**第3図**に示します．ヒータ電圧は，単3電池の電圧そのものとなります．ヒータ電流は，ステレオで0.22Aと抑え，長時間使用に耐えられる仕様とします．真空管B電圧には，DC-DC昇圧モジュールCB-3801を用い，+12Vを供給しています．スペックは，入力電圧3V以上となっています．

アルカリ1次電池より電圧が低いニッケル水素2次電池でも動作上，出力電圧には，スペック値の約12Vが生成されます．CB-3802を使えば出力電圧が約15Vとなります．

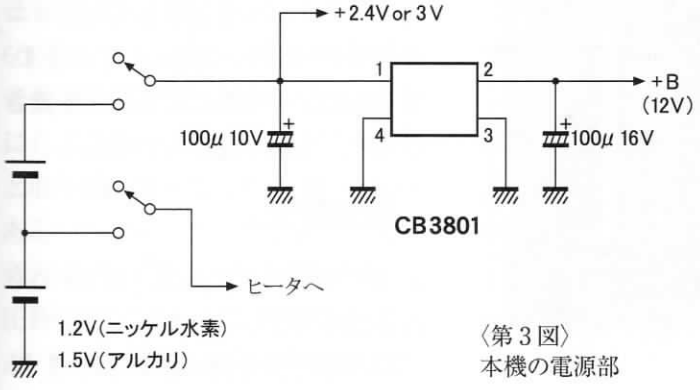
1個のDC-DCモジュールから出力電流は20mA程度とれ，真空管への供給のみですから，余裕のある

PIN DESCRIPTION

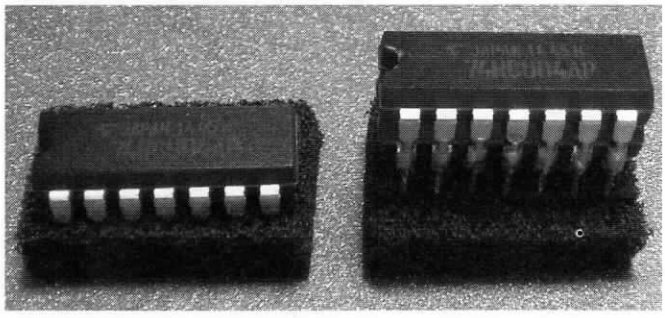
PIN NO.	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1, 3, 5, 9, 11, 13	1A to 6A	data inputs
2, 4, 6, 8, 10, 12	1Y to 6Y	data outputs
7	GND	ground (0 V)
14	V_{CC}	positive supply voltage



〈第2表〉出力段に使用した　MOSインバータ74HCU04の規格



〈第3図〉
本機の電源部

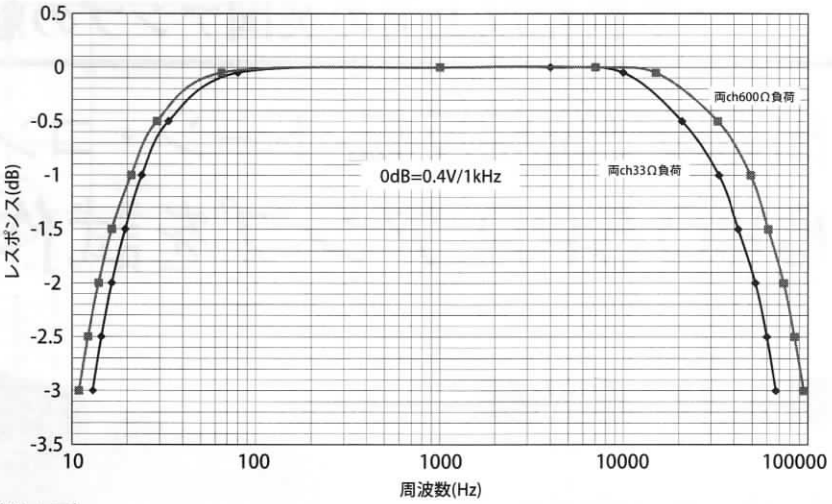


《写真A》出力増大のためにインバータを並列化するときはあらかじめ並列接続したものを差しかえるのが便利

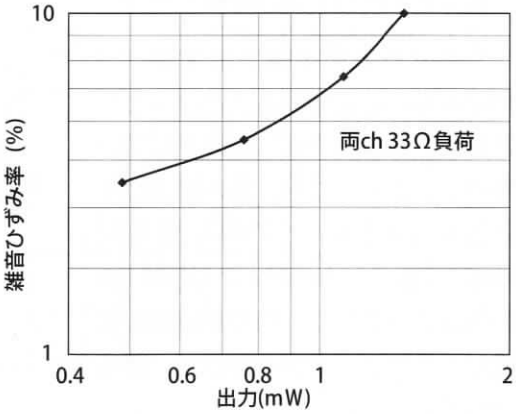
両ch33Ω負荷で，13Hz～67kHz +0，−3dB以内という周波数特性です．両ch600Ω負荷では，11Hz～95kHz+0，−3dB以内の広帯域特性となります．

雑音ひずみ率特性を**第5図**に示します．低電圧0バイアス・シングル動作の初段3A5から偶数次ひずみが出ており，数%と高ひずみ率となっています．

最大出力は，両ch33Ω負荷で1.5mW+1.5mWほどです．両ch600Ω負荷では1.5mW+1.5mW強となります．出力段のパラレル数を増やすと，33Ω負荷での最大出力が増加します．600Ω負荷では，出力段の電源電圧で出力が決定され，単3電池の数を2個から3個に増やせば，最大出力は増加します．実際には1mW以上あれば不足とならないこともあり，小型軽量化を活かすため，単3電池2個のままとして使っています．



▲〈第4図〉
本機の周波数特性．−3dB点で70～100kHまで伸びている



〈第5図〉▶
本機の雑音ひずみ率特性．あえて2次ひずみを増やしている

長時間聴いても疲れない

試聴に使用したソース源はApple iPodで，ヘッドフォンはゼンハイザーHD-414，ソニーMDR-E837，iPod付属品です．

まず無信号時ですが，初段が3極管にも関わらず，ハムはもちろんノイズは認められません．ヘッドフォン・アンプとして必須である低雑音の要求には十分です．

まずは，愛用のHD-414で再生音を確認します．インピーダンスが600Ωと高く，3Vの低電圧駆動が，音楽再生に影響しないか製作中は気にしましたが，実際，聴いてみますと取り越し苦労でした．パワー感のあるハーモニクス・サウンドが奏でられます．出力段が3Vほどの低電圧駆動とはまったく想像つきません．低域の制御力もすばらしいです．

初段の3A5でソースに適度のハーモニクスを付加し，その信号を出力段のCMOS-FETで受け，そのまま出力している感じがよくわかります．各種楽器，ボーカル，バック・コーラスが，個々に明確にわかりながら，全体としてバランスよくまとまった音楽となっています．長い間聴いていても疲れを感じません．聴き出すと再生が止められず，さまざまなジャンルの音楽を休むことなく聴きたくなります．

つぎに，MDR-E637で確認します．インピーダンスは16Ωと低くなりますので，出力段CMOS-FETインバータのパラレル数不足を気にしましたが，全体はバランスよく纏まっています．少し中高域にややくせが感じられます．やはり，出力段インバータのパラレル数を増やすほうがよいように思われます．

iPod附属のヘッドフォンでは，HD-414に比べると低域に物足りなさを感じますが，このアンプを介することで各楽器の響きがわかり，厚みのある音楽が楽しめます．

本機でヘッドフォン再生音を聴いてしまうと，もとに戻れません．ふだんお使いのデジタル携帯機器に本アンプが加われば，その場で直熱3極管が奏でる音楽が楽しめます．心地よすぎて思わずボリュームを上げ，まわりのかたの迷惑にならないよう，ご注意ください．

本機は単3電池2個で長時間稼働な低消費電力設計ですが，ヒータ電流を供給している直列接続下側の電池電圧が少し早く低くなります．そのときは，上下の電池を入れ替えると，より長く稼働できます．

●ホーム・ページ

http：//www.geocities.jp/seychelle_7/